

приемных антенных структур может стать единственной возможностью решения проблемы обеспечения высокоскоростной и надежной передачи данных не только в системах беспроводного доступа, но и в системах и сетях связи с подвижными и высокоподвижными объектами.

### Литература

1. Вишнеvский В. М. Энциклопедия WiMAX: путь к 4G / Вишнеvский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
2. WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / [Сюваткин В. С. и др.]; под ред. В. В. Крылова. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 368 с.
3. Поспелов Б. Б. Реализация концепции адаптируемого канала связи в авиационных радиоперелиниях / Б. Б. Поспелов // Радиотехника. – 2002. – Вып. 128. – С. 197– 205.
4. Поспелов Б. Б. Комплексная оптимизация беспроводных каналов связи / Б. Б. Поспелов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 162– 167.
5. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Цыпкин Я. З. – М.: Наука, 1968. – 400 с.

Надійшла 21.11.2010 р.

УДК 621.317.73

В.В. МІШАН, Ю.М. БОЙКО  
Хмельницький національний університет

## ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В CDMA МЕРЕЖАХ

*Розглянуто особливості формування мереж стільникового зв'язку на основі технології CDMA. Описані переваги реалізації мереж на основі технології CDMA. Досліджені питання енергетичного контролю в мережах CDMA з метою ефективного регулювання переданої енергії базової і мобільної станції. Представлений алгоритм роботи логіки системної станції у випадку енергетичного контролю, приведені результати симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю в середовищі Matlab.*

*In the article the conducted analysis and the features of realization of networks are considered on the basis of technology of CDMA. The considered advantages of realization of networks are with the help of technology of CDMA. Probed question of the effective adjusting by procedure of power control in CDMA networks, with the purpose of management and providing of the equivalent smoothing of distances power from mobile terminals to the base station in the conditions of action of hindrances. Presented results of simulation of algorithm of power control of logic of the system station.*

Ключові слова: мережа, енергетичний контроль, трафік.

**Вступ.** В даний час доречно говорити про прорив на ринку телекомунікацій – розгортання нової мережі стільникового зв'язку на основі технології CDMA (Code Division Multiple Access). CDMA-система використовує для передачі даних складні (шумоподібні) широкосмугові цифрові сигнали. Цей перспективний напрямок в техніці прийому і передачі інформації – застосування шумоподібних сигналів (ШПС) – систематично вивчався російським професором Д. В. Агеевим ще в 30-х роках, а саме в 1935 р., пізніше була опублікована перша робота присвячена обробці складних сигналів – "Основи теорії лінійної селекції. Кодове розділення каналів". А уже в 1942 р. з'явилися роботи "Математична теорія зв'язку" Клода Шеннона і "Теорія потенційної завадостійкості" В.О. Котельникова. Шеннон і Котельников по суті створили наукову базу для розробки технології CDMA. 1956 р. – лабораторією Лінкольна Массачусетського технологічного інституту розроблена і випробувана в реальних умовах система телеграфного короткохвильового радіозв'язку "Rake" з розділенням променів і підсумовуванням їх енергій. Паралельно в нашій країні був створений радіолокатор з лінійно-частотною модуляцією. 1960 р. – В США випущена система зв'язку ARC-50, та система телефонного зв'язку з використанням ШПС RACER, що забезпечує зв'язок з рухомими наземними абонентами. У міру розвитку методів аналого-цифрового перетворення мовних сигналів з'явилися перші пропозиції використовувати ШПС в комерційних системах зв'язку. В цей же час фірмою "Motorola" запропонована широкосмугова система передачі мови з використанням дельта-функції. 70– 80 роки – в США активно впроваджувалися системи супутникового зв'язку, авіаційні, сухопутного рухомого зв'язку. Були створені такі супутникові системи як MIL-STAR для потреб стратегічного і тактичного зв'язку, FLEITSATCOM для потреб тактичного зв'язку. Кінець 80-х років – в США розгорнена перша супутникова система зв'язку комерційного призначення за технологією CDMA Omni TRACKS. 1991 р. – компанією "Qualcomm" розроблений проект стандарту IS-95. На сьогодні вже багато фахівців у сфері телекомунікацій вважають, що технологія стільникового зв'язку з кодовим розділенням каналів CDMA складе серйозну конкуренцію цифровим технологіям на базі технології часового ущільнення каналів TDMA [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** CDMA забезпечує істотне збільшення ємності мережі. Як і метод множинного доступу [1, 2], він має на увазі передачу голосової інформації тільки в

оцифрованому вигляді. У англомовній літературі використовується термін *spread spectrum*, що перекладається на українську мову як "розподілений", або "розтягнутий", "розмитий" спектр. Корисна інформація як би "розмазується" по частотному діапазону, істотно ширшому, ніж при традиційних способах модуляції сигналу (у даному контексті такий сигнал часто називають вузькосмуговим). Здійснюється це за рахунок перемноження послідовності корисних бітів інформації на псевдовипадкову послідовність коротших імпульсів. Смуги інформаційних сигналів можуть бути розширені з коефіцієнтами від 10 до 10000 за рахунок представлення їх спеціальними двійковими послідовностями з використанням декількох різних методів. В результаті виходить сигнал, який займає більший частотний діапазон і має значно меншу інтенсивність, ніж одержуваний при вузькосмуговій модуляції. В цьому випадку інформацію можна прийняти, тільки знаючи послідовність, на яку був перемножений корисний сигнал при передачі, – інакше він виглядатиме як шум (звідси і назва) [3].

Для передачі інформації відводиться частотний діапазон (для IS-95 (Interim Standard – часовий стандарт)) шириною 1,25 МГц і фрагменти загальної "великої" псевдовипадкової послідовності, по-різному зміщені від умовно вибраного початку цієї послідовності [2]. Ємність комірки мережі CDMA визначається тим, наскільки незалежні один від одного коди використані абонентськими апаратами. Взаємна залежність між розмірами комірки і ємністю мережі обумовлена тим, що можна забезпечити задану якість передачі мови, тільки якщо співвідношення сигнал/шум виявляється вище певного значення. Важливим результатом використання CDMA, є можливість ослаблення впливу інтерференційних завад на якість передачі інформації і зокрема такого небажаного ефекту як фединг. Тут на різних частотах в межах його широкого спектру створюються різні інтерференційні картини, що і викликає вирівнювання результуючого сигналу. Несинфазна зміна рівня сигналу на різних частотах спектру сигналу приводить до сильного ослаблення впливу завмирань на подібні системи.

Вагома перевага CDMA полягає також в тому, що замість жорсткого перемикання (*hard handoff*, або *break before make*) від комірки до комірки, прийнятого у всіх інших стільникових мережах, в CDMA можна використовувати м'який перехід (*soft handoff*, або *make before break*): мобільний апарат спочатку встановлює зв'язок з базовою станцією, в зону дії якої він переходить, і лише після цього звільняє канал в комірці яку покидає [1– 4]. Це можливо за рахунок того, що в комірках одна і та ж несуча частота.

Організація CDMA зв'язку відбувається перемноженням сигналу джерела псевдовипадкового шуму PN (Pseudorandom Number) з інформаційним сигналом, енергія останнього розподіляється в широкій смузі частот, тобто його спектр розширюється і зменшується частота помилок при передачі інформації.

Розширення спектру частот переданих цифрових повідомлень може здійснюватися різними методами або їх комбінацією. Перерахуємо основні:

- прямим розширенням спектру частот Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS-CDMA);
- з багатоканальним розширенням спектру частот Multi Carrier (MC-CDMA);
- стрибкоподібною зміною частоти несучої Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS-CDMA).

Особливість другого методу полягає в перемноженні інформативних бітів з кодовою послідовністю та розділенням користувачів використанням ортогональних функцій Уолша, що мінімізує інтерференційні завади між абонентами. Основні переваги такого методу: захист переданої інформації від підслуховування ("чужий" приймач використовує тут інший алгоритм кодування і не зможе декодувати інформацію не від свого передавача), надлишковість метода обумовлює малу потужність сигналу для забезпечення зв'язку. На даному етапі для систем MC-CDMA використовується смуга частот в 1,25 МГц з розділенням на 512 піднесучих.

Особливість третього методу полягає в тому, що тут відбувається стрибкоподібна зміна несучої частоти. Вся відведена для передачі смуга частот поділяється на деяку кількість підканалів (за стандартом 802,11 цих каналів 79). Кожен передавач в певний момент використовує тільки один з цих підканалів, регулярно перескакуючи з одного підканалу на інший. Стандарт 802,11 не фіксує частоту таких стрибків – вона може задаватися по-різному в кожній країні. Ці скачки відбуваються синхронно на передавачі і приймачі по наперед заданій псевдовипадковій послідовності, відомій обом; ясно, що не знаючи послідовності перемикань, прийняти передачу також не можна.

**Розробка питань енергетичного контролю в CDMA мережі.** Енергетичний контроль дуже суттєва проблема в сучасних CDMA стільникових мережах. Енергетичний контроль охоплює методи і алгоритми які використовуються, щоб регулювати передачу енергію базової і мобільної станції. Він служить також для декількох цілей: для зменшення каналних втручань, керування якістю голосових повідомлень, максимізації кількості каналів і мінімізації випромінювання від мобільної станції.

Успішна оптимізація любого алгоритму енергетичного контролю потребує моделювання багатьох компонентів. Ця оптимізація може бути досягнута на системному рівні проекту, який дозволяє моделювати фізичні і зв'язуючі шари цілих систем комутації мережі зв'язку.

У системі передбачено повільне (статичне) управління потужністю і швидке. Команди швидкого управління посилаються із швидкістю 800 бод і вбудовані в розмовні фрейми. Повільне управління потужністю забезпечує еквівалентне вирівнювання відстаней від мобільних терміналів до базової станції. Відсутність швидкого управління потужністю завмирань пов'язаних з розповсюдженням радіохвиль в структурах і об'єктах (стіни будинків, металеві конструкції і так далі) за рахунок відбиття, привело б до значного погіршення характеристик системи. Повільне управління потужністю забезпечує еквівалентне

вирівнювання відстаней від мобільних терміналів до базової станції.

Щоб вирішити цю проблему в міських умовах, алгоритм енергетичного контролю гарантує, що спільно прийняті енергетичні рівні всіх мобільних станцій такі ж, як і базової. Алгоритм керує передаючою енергією мобільної станції. Щоб керувати енергією в цій формі, алгоритм постійно контролює спільно прийняту енергію кожної мобільної станції і безперервно регулює передачу енергії, щоб досягти потрібного рівня, з метою визначення частоти появи вікна помилкового біта Frame Error Ratio (FER).

У відкритій петлі енергетичного контролю, мобільна станція передає енергію вимірюючи прийнятий сигнал базової станції і оцінює втрати тракту зв'язку. Мобільна станція використовує цю інформацію і через зворотній зв'язок передає її базовій станції.

Мобільна станція – початковий і головний відправник енергетичних повідомлень, функція базової станції – прийняття енергетичних повідомлень і відправлення параметрів доступу до каналу. Потужність передачі сигналу мобільною станцією вибирається так, щоб сума потужностей переданого і отриманого сигналу (з врахуванням втрат на розповсюдження) сигналів була рівна певному значенню (наприклад – 73 дБм), яке передається із допомогою каналу управління (рис. 1). До початку процесу передачі мобільної станції з допомогою схеми автоматичного регулювання підсилення приймача визначається потужність яка була передана по прямому каналу. Нехай отримана потужність дорівнює – 83дБм. Тоді згідно з алгоритмом керування, потужність сигналу який передається  $P_{np} = (-73) - (83)$ дБм, або 10 дБм.

При прямому керуванні каналом базова станція періодично знижує потужність сигналу який передається мобільною станцією. Якщо мобільна станція фіксує збільшення кількості помилок в кадрах, відправляється запит на збільшення потужності базової станції. Зміни вносяться періодично, залежно від значення рівня помилок в кадрі.

До основних параметрів доступу відносяться номінальна потужність (Num\_Pwr), початкова потужність (Init\_Pwr), збільшення кроку потужності між запитом доступу (Pwr\_Step), число запитів доступу (Num\_Step), які зв'язані між собою наступним чином:

$$\text{mean output power} = - \text{mean input power} - 73 + \\ + \text{Num\_Pwr} + \text{Init\_Pwr (dBm)}$$

Рисунок 1 ілюструє роботу системної станції і описує контрольну логіку, процес роботи якої, звичайно реалізується програмним забезпеченням в мікропроцесорі. Графічні з'єднання стаціонарного апарату дозволяють описувати системну станцію, підстанції і події які викликаються переходами між ними. Порівняння системних станцій, та моделювання також дозволяє візуально порівняти системну станцію з системними сигналами. На рисунку 1 одна системна станція складається з двох підстанцій. Стрілками показані переходи між підстанціями, а ярлики на стрілках показують події які викликають ці переходи. Обробка даних виконується в самій станції після того як зміниться ярлик. Коли мобільна станція вперше звертається в Access\_probe, підстанція System\_access звернеться до станції за типом інформації:

- встановлює передачу енергії, використовуючи формулу;
- дозволяє відправлення;
- запускає таймер;
- чекає в підстанції Access\_Probe.

Якщо енергетичний рівень мобільної станції достатній для прийому на базовій станції, базова станція передає дозвіл на пошуковий канал зв'язку. BS\_Responce запускає систему System\_access суперстанції, блокує передачу на доступному каналі і переміщає на реверсивний канал зв'язку нижчої станції. Якщо відповіді немає, подія Time\_Out заставляє систему перейти на підстанцію Access\_Probe, збільшує Sum\_Access\_Probe\_Correction змінною Pwr\_Step, і збільшує значення Num\_Access\_Probes до одиниці. Потім система повертається до Access\_Probe state де нове значення Sum\_Access\_Probe\_Correction змінюється для передаючої потужності. Процедура повторюється поки від базової станції не прийде відповідь, що число запитів доступу перевищило Num\_Step. Коли досягнутий поріг Num\_Step (Num\_Access\_Probes=Num\_Step), система переводить станцію в режим очікування. Тут доступ передачі блокований, енергія скоректована, змінні графа перезавантажені і мобільна станція знаходиться в стані очікування протягом випадково вибраного періоду який задає інший системний параметр. Як тільки мобільна станція починає передачу на реверсивному каналі трафіку і отримує на приймальний телефонний канал навантаження, тоді використовується алгоритм закритої петлі енергетичного контролю. Тут базова станція вимірює енергію сигналу мобільної станції і посилає повідомлення мобільній станції для збільшення або зменшення переданої енергії таким чином, щоб зворотній канал трафіку збігався з вказаним FER. Наприклад якісні мінімальні рівні мають бути від 1 % до 2 % FER.

При моделюванні системи інженер може на місці запустити проектування протоколу зв'язного шару без фізичного шару, а потім додати фізичний шар після тестування протоколу, або інженер може проектувати кодовий канал з додаванням білого Гаусівського шуму (AWGN), а потім дослідити затухання.

В закриті петлю контролю входять прямий і зворотній канали трафіку. Така успішна оптимізація алгоритму потребує одночасного моделювання фізичних шарів каналу. Щоб додати фізичний шар до проекту, інженер може використовувати бібліотеки попередньо сформованих блоків для DSP (Digital signal processors) і забезпечення дії комунікації з блок діаграмою системних інструментів. Зворотній канал трафіку складається із блоків які виконують циклічну надлишкову перевірку (CRC) генерації і містять кодувач,

символьний повторювач і чередувач, розгортувач, модулятор і фільтр.

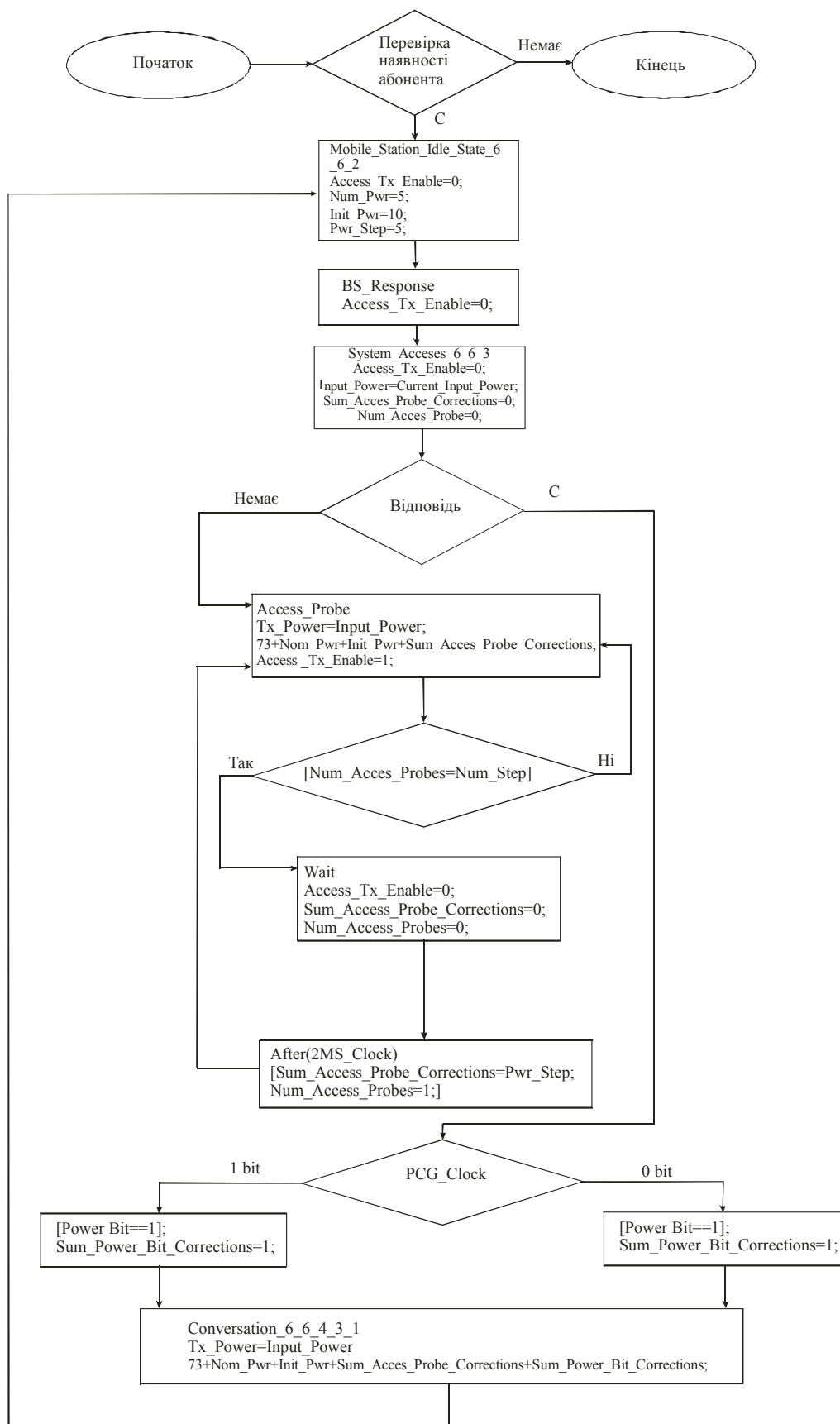


Рис. 1. Алгоритм роботи логіки системної станції у випадку енергетичного контролю

Закрита петля енергетичного контролю крім того може бути поділена на внутрішні і зовнішні цикли. У внутрішньому циклі базова станція починає роботу з контролю FER і контрольного біта відношення  $E_b / N_0$  (сигналу до шуму), яке потрібне для контролю FER. Потім базова станція повторює

вимір FER і регулює поріг  $E_b / N_0$  відповідно.

Алгоритм роботи базової станції наступний: як прямий, так і зворотній трафік каналу ділиться на частинки тривалістю 20 мс. Крім того кожна частинка ділиться на 16 груп енергетичного контролю power control group (PCGs) довжиною 1,25 мс у внутрішній петлі. Базова станція має данні про прийняту величину  $E_b / N_0$  для кожної мобільної станції, а також для кожної PCG і порівнює тип інформації з пороговою мірою. Якщо  $E_b / N_0$  менше за потрібну, базова станція передає команду мобільній станції на збільшення переданої енергії, а якщо більше – на зменшення.

Базова станція зв'язується з мобільною через підканал енергетичного контролю трафіку прямого каналу передачі даних. Цей підканал передає енергетичні службові біти всередині трафіку каналу в форматі PCG використовуючи процедуру "symbol puncturing". В цьому випадку біти розміщуються після довгого кодового скремблювання, тільки перед кодом Уолша. Вони складаються з 24 символів в одному PCG трафіку прямого каналу передачі даних і тому виникає 24 можливих варіанта розміщення цих енергетичних бітів. Розміщення міняється з кожним PCG і формується останніми 4 бітами довгого PN – коду. Мобільна станція приймає енергію службового біта, використовуючи той же довгий PN – кодовий біт. Якщо мобільна станція прийняла 1 біт то вона зменшує енергію до 1 дБм, якщо 0 біт – збільшує до 1 дБм. Тоді формула для визначення переданої енергії буде наступна:

$$\begin{aligned} \text{mean output power} = & - \text{mean input power} - 73 + \\ & + \text{Nom\_Pwr} + \text{Init\_Pwr} \\ & + \text{sum of all acces probe correction} \\ & + \text{the sum off closed - loop power control corrections (dBm)} \end{aligned}$$

На вході каналу трафіку рис. 1, станція контролюється від System\_access state, трафік в каналі дозволений. В кожному PCG випадків, система виходить із підстанції і порівнює значення енергетичного біта з Power\_bit. Якщо значення дорівнює 0 то Sum\_power\_bit\_correction збільшується до 1 дБм. Якщо значення дорівнює 1 то Sum\_power\_bit\_correction зменшується до 1 дБм. Тоді система повертається до обміну даними між підстанціями де нове значення Sum\_power\_bit\_correction виправляється і використовується.

На рис. 2 показані результати симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю в середовищі Matlab.

На рис. 2 на осцилограмі а) жовтим кольором (1), відображено рівень переданої мобільною станцією енергії, пурпуровим (2) – відношення  $E_b / N_0$ , і поріг  $E_b / N_0$  представлено в світло-голубому (3). На рис. 2 на осцилограмі б) показано жовтим кольором (1) частоту кадрів синхронізації, де кожен край відповідає початку кадру енергетичного біту відправленого енергетичним контролем підканалу, представлено в пурпурі (2), і групи кадрів енергетичного контролю (PCG) в світло-голубому (3).

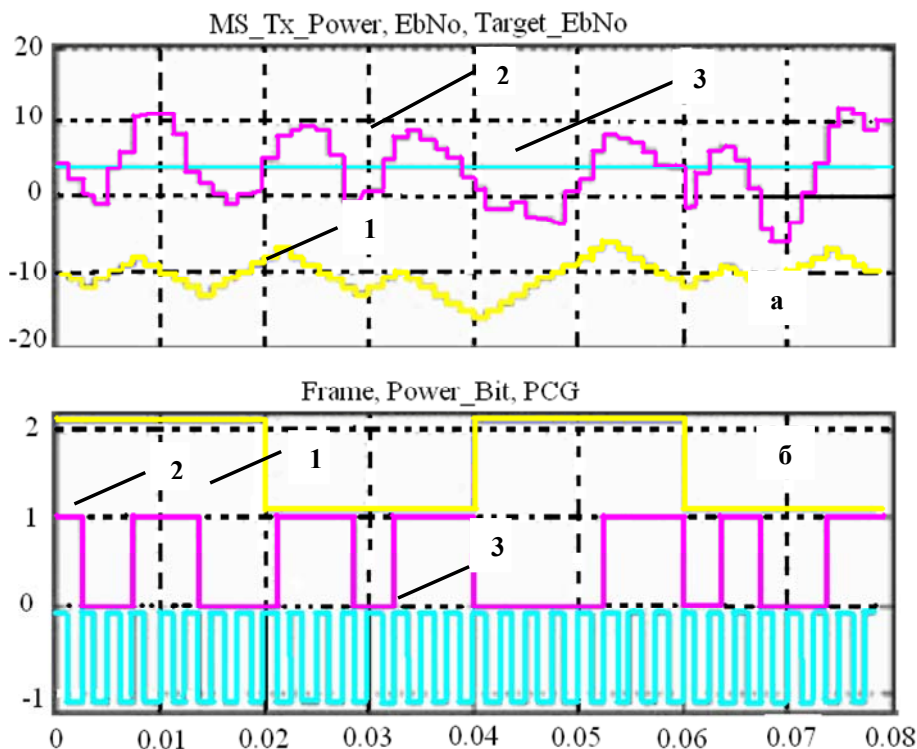


Рис. 2. Осцилограми результатів симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю

Завдяки затуханню, відношення  $E_b/N_0$  змінюється. Кожен раз коли  $E_b/N_0$  збільшується за порогове значення (осцилограма 3 на рис. 2 а), базова станція збільшує енергетичний службовий біт до 1 (осцилограма 2 на рис. 2 б) і мобільна станція зменшує передачу енергії, а коли  $E_b/N_0$  зменшується – навпаки. Ці енергетичні коректування гарантують, що мобільна станція підтримує прийнятний FER, при цьому мінімізує передачу енергію.

#### Висновки:

1. Головна задача контуру регулювання потужності – корекція очікуваних значень відкритого циклу.
2. Важливою перевагою швидкісного і високоточного регулювання потужності по зворотному зв'язку є значне зниження середньої потужності передачі в зворотному каналі.
3. При виявленні збільшення кількості помилок в кадрах системою енергетичного контролю відправляється запит на збільшення потужності базової станції. Зміни вносяться періодично залежно від рівня помилок в кадрі.
4. Результати симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю дозволяють ефективно досліджувати та проводити енергетичні коректування з метою забезпечення оптимального рівня FER, та мінімізувати передачу енергію.

#### Література

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
2. Гепко И. А. Эволюция технологии CDMA: взгляд в третье тысячелетие / Гепко И. А. – К.: Зв'язок, 2000. – 150 с.
3. Невдяев Л. CDMA: канальная структура / Л. Невдяев // Сети. – 2000. – № 2. – 130 с.
4. Бойко Ю. М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сенсорних мереж / Ю. М. Бойко, В. В. Мишан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2 – С. 94-98.

Надійшла 6.11.2010 р.

УДК 681.325.36

І.М. ЛАЗАРОВИЧ, О.П. ПАШКЕВИЧ  
ПВНЗ "Галицька Академія", м. Івано-Франківськ

### МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОГО ПРИЙМАЧА СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РАНДОМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ БАГАТОРІВНЕВИХ М-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

*У роботі розглянуто метод рандомізації гармонійних сигналів з використанням приведення початкового сигналу до форми дворівневих і багаторівневих послідовностей максимальної довжини. Це дає можливість використовувати переваги кореляційного методу прийому псевдовипадкових сигналів при використанні гармонійних сигналів і фазової модуляції. Моделювання, що проведене при дослідженні запропонованого методу, показало його ефективність.*

*In work the randomization method of harmonic signals with the use of adduction of initial signal to the form of two-tier and multilevel sequences of maximal length is considered. It enables to take advantages of correlation method of acceptance pseudocausal signals at the use of harmonic signals and phase modulation. The modelling, that it is conducted at research of the offered method, showed his efficiency.*

Ключові слова: рандомізація, М-послідовність, фазова модуляція, кореляція.

**Вступ.** В сучасному виокотехнологічному суспільстві в галузі застосування інформаційних систем дедалі частіше доводиться розв'язувати задачі підвищення ефективності збору, перетворення, обробки, зберігання і передавання даних. Комплексне використання фундаментальних теоретичних основ цифрової обробки інформації та новітніх досягнень теорії у цих галузях на базі сучасних програмних і апаратних комп'ютерних засобів дозволяє поставити нові задачі в даній галузі і ефективно їх розв'язувати.

Одним із перспективних напрямків розвитку теорії обробки сигналів стосовно застосування в комп'ютерних системах керування є освоєння нелінійних теоретико-числових перетворень в базисах Крестенсона, Галуа, Крестенсона-Галуа.

Оцінка сучасних методів та засобів цифрової обробки даних (ЦОД) показує, що лінійні методи, які часто застосовуються для ЦОД, досягли значного насичення в своєму розвитку, а нелінійні методи є малодослідженими. Водночас є позитивний досвід використання нелінійних методів, зокрема рандомізації [1]. Одним із перспективних напрямків використання цієї процедури є метод підвищення завадостійкості приймання фазо-модульованих гармонічних сигналів в каналі з шумом. В роботі [2] показано ефективність вищезгаданого методу при використанні рандомізації для перетворення гармонічного сигналу в